

**Optical switching element and switching arrangement**

Patent Number: ☐ US6345132  
Publication date: 2002-02-05  
Inventor(s): PICARD ANTONI (DE); NEUMEIER MICHEL (DE); SCHMIDT MARTIN (DE); SCHULZE JANE (DE); KAMPER KLAUS-PETER (DE)  
Applicant(s): CONTROLWARE GMBH KOMMUNIKATION (DE); INST MIKROTECHNIK MAINZ GMBH (DE)  
Requested Patent: ☐ DE19711564  
Application Number: US19990381409 19990917  
Priority Number (s): DE19971011564 19970320; WO1998EP01600 19980319  
IPC Classification: G02B6/26; G02B6/02  
EC Classification: G02B26/02L  
Equivalents: AU7037898, ☐ EP0968452 (WO9843124), B1, ☐ WO9843124

**Abstract**

The invention relates to an optical switching element for altering the propagation direction of at least one light beam, comprising a transparent base body (21), said base body being provided with a recess (20) for forming at least one boundary surface (19) between an optically denser medium and an optically more translucent medium. The incident light strikes this boundary surface (19). The recess (20) is filled partly with a liquid (26) and contains a moveable body (16). The liquid (26) and the moveable body (16) have approximately the same refractive index as the transparent base body. To switch the switching element (15) to a transmitting switching state, the moveable body is positioned in the recess in such a way that the gap between the boundary surface and the surface of the moveable body is filled completely with the liquid. If the moveable body is positioned in the recess in such a way that the boundary surface is free of the liquid, the incident light is reflected on said boundary surface. The switching element has low optical damping and is therefore economical to produce. Its compact construction means that larger switching arrangements with a large number of optical inputs and outputs can be created with the switching element

Data supplied from the esp@cenet database - I2



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

①2 **Offenlegungsschrift**  
①0 **DE 197 11 564 A 1**

⑤1 Int. Cl.<sup>6</sup>:  
**G 02 B 26/02**  
G 02 B 26/08  
G 02 B 6/35

②1 Aktenzeichen: 197 11 564.0  
②2 Anmeldetag: 20. 3. 97  
④3 Offenlegungstag: 1. 10. 98

DE 197 11 564 A 1

⑦1 Anmelder:

Institut für Mikrotechnik Mainz GmbH, 55129 Mainz,  
DE; Controlware GmbH Kommunikationssysteme,  
63128 Dietzenbach, DE

⑦4 Vertreter:

Fuchs, Mehler, Weiß, 65189 Wiesbaden

⑦2 Erfinder:

Picard, Antoni, Dr., 55270 Essenheim, DE; Schmidt,  
Martin, Dr., 14193 Berlin, DE; Kämper, Klaus-Peter,  
Dr., 55278 Mommenheim, DE; Schulze, Jens, 55116  
Mainz, DE; Neumeier, Michel, 55270  
Schwabenheim, DE

⑤6 Entgegenhaltungen:

DE 1 95 27 566 A1  
US 47 89 228  
US 33 38 656  
US 29 97 922

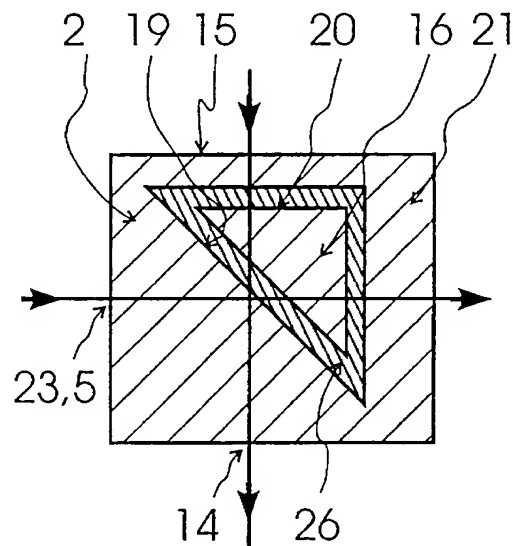
IEEE Transactions on Components, Packaging and  
Manufacturing Technology, Part B, Vol. 18, No. 2,  
May 1995, S. 241-244;

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Optisches Schaltelement

⑤7 Ein optisches Schaltelement zum Ändern der Ausbreitungsrichtung von mindestens einem Lichtstrahl weist einen lichtdurchlässigen Basiskörper (21) auf, der zur Bildung mindestens einer Grenzfläche (19) zwischen einem optisch dichteren Medium und einem optisch dünneren Medium mit einer Ausnehmung (20) versehen ist, wobei das einfallende Licht (23) auf die Grenzfläche (19) trifft. Die Ausnehmung (20) ist teilweise mit einer Flüssigkeit (26) gefüllt und enthält einen bewegbaren Körper (16). Die Flüssigkeit (26) und der bewegbare Körper (16) haben etwa den gleichen Brechungsindex wie der lichtdurchlässige Basiskörper. Um das Schaltelement (15) in einen transmittierenden Schaltzustand zu schalten, wird der bewegbare Körper in der Ausnehmung derart angeordnet, daß der Spalt zwischen der Grenzfläche und der Oberfläche des bewegbaren Körpers vollständig mit der Flüssigkeit gefüllt ist. Wird der bewegbare Körper in der Ausnehmung derart angeordnet, daß die Grenzfläche frei von der Flüssigkeit ist, wird das einfallende Licht an der Grenzfläche reflektiert. Das Schaltelement hat eine niedrige optische Dämpfung und läßt sich dabei kostengünstig herstellen. Aufgrund seines kompakten Aufbaus können mit dem optischen Schaltelement größere Schaltanordnungen mit einer Vielzahl von optischen Eingängen und Ausgängen geschaffen werden.



DE 197 11 564 A 1

Die Erfindung betrifft ein optisches Schaltelement zum Ändern der Ausbreitungsrichtung von mindestens einem Lichtstrahl sowie eine Schaltanordnung mit derartigen optischen Schaltelementen.

Zum Verbinden von Glasfaserleitungen sind Matrixschalter bekannt, mit denen N-optische Eingangskanäle beliebig auf M-optische Ausgangskanäle geschaltet werden können. Die Anzahl der zu verschaltenden Glasfasern ist vom jeweiligen Anwendungsbereich abhängig. Im Bereich der Telekommunikation finden Matrixschalter mit einer Vielzahl von Ein- und Ausgangskanälen Verwendung.

Es sind mechanische Matrixschalter bekannt, bei denen Spiegel oder Prismen mit hoher Präzision bewegt werden. Auf Spiegel- oder Prismenanordnungen beruhende Schalter benötigen einen sehr stabilen und präzisen Aufbau. Die geforderte Präzision ist im allgemeinen mit einem hohen technischen Aufwand verbunden.

Neben den optischen Schaltelementen, bei denen die mikrooptischen Komponenten mit hoher Präzision bewegt werden, sind auch optische Schaltelemente bekannt, die nach einem Schaltprinzip arbeiten, das eine Bewegung von mikrooptischen Komponenten nicht erforderlich macht.

Die GB 1 494 150 beschreibt ein optisches Schaltelement in einem Lichtwellenleiter, bei dem eine Grenzfläche, auf die das einfallende Licht trifft, zwischen einem Zustand der Totalreflexion und der Transmission umgeschaltet wird. Der bekannte optische Schalter weist in dem Kern des Lichtwellenleiters einen schmalen Spalt auf. Der Spalt bildet eine ebene Grenzfläche zwischen einem optisch dichteren Medium, d. h. dem Material des Kerns des Lichtwellenleiters, und einem optisch dünneren Medium, d. h. einem gasförmigen Stoff in dem Spalt, so daß schräg auf die Grenzfläche fallendes entlang des Lichtwellenleiters geführtes Licht an der Grenzfläche in Richtung eines angrenzenden Lichtwellenleiters totalreflektiert wird. Zum Umschalten in den transmittierenden Zustand, in dem das auf die Grenzfläche treffende Licht seine Ausbreitungsrichtung beibehält, wird in den Spalt eine Flüssigkeit geleitet, deren Brechungsindex dem Brechungsindex des Materials entspricht, aus dem der Kern des Lichtwellenleiters besteht. Als Vorrichtung zum wahlweisen Einleiten des Stoffs in seiner flüssigen oder gasförmigen Phase ist ein mit einer Heizeinrichtung an den Lichtwellenleiter angebrachtes Vorratsgefäß vorgesehen. Durch thermische Ausdehnung wird die Flüssigkeit in den durch die Mantelschicht in die Kernschicht des Lichtwellenleiters hinein ragenden Schlitz gedrückt. In einer anderen Ausführungsform wird der im Schlitz befindliche flüssige Stoff durch Erhitzen in die Gasphase gebracht.

Nachteilig ist die aufwendige Herstellung des bekannten Schalters, da in ein Lichtwellenleiter zunächst ein Schlitz einzubringen ist, daran eine Vorrichtung zum Befüllen anzubringen ist und dieser Aufbau nach außen abgedichtet werden muß. Durch das Schlitzes des Lichtwellenleiters lassen sich nur parallele Flächen realisieren, die darüberhinaus als reflektierende Flächen keine hohe optische Qualität aufweisen. Weiterhin besitzt der bekannte Schalter eine hohe optische Dämpfung, da der aus dem Lichtwellenleiter divergierend heraustretende Lichtstrahl im Bereich des Schlitzes nicht geführt ist. Daher kann im transmittierenden Schaltzustand ein Teil in den angrenzenden Lichtwellenleiter überkoppeln, was zu einem hohen Nebensprechen des bekannten Schalters führt.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein optisches Schaltelement mit einer niedrigen optischen Dämpfung und geringem Nebensprechen zu schaffen, das einen kompakten Aufbau und eine hohe Lebensdauer hat und sich dabei ko-

stengünstig herstellen läßt. Darüber hinaus liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, eine Schaltanordnung mit N-optischen Eingängen und M-optischen Ausgängen mit den oben genannten Eigenschaften zur Verfügung zu stellen.

Die Lösung der Aufgaben erfolgt erfindungsgemäß mit den im Patentanspruch 1 bzw. 30 angegebenen Merkmalen.

Bei dem optischen Schaltelement gemäß der Erfindung ist die Ausnahme in dem transparenten Basiskörper nur teilweise mit der Flüssigkeit gefüllt, die an den Brechungsindex des Basiskörpers weitgehend angepaßt ist. Zur Umschaltung zwischen dem transmittierenden und reflektierenden Schaltzustand ist ein in der Ausnahme bewegbarer Körper vorgesehen. Der bewegbare Körper ist derart ausgebildet und in der Ausnahme zwischen zwei Positionen bewegbar, daß in dem transmittierenden Schaltzustand zumindest der im Strahlengang des einfallenden Lichts liegende Bereich des Spalts zwischen der Grenzfläche und der Oberfläche des bewegbaren Körpers vollständig mit der Flüssigkeit gefüllt ist. Dadurch wird erreicht, daß das einfallende Licht an der Grenzfläche nicht totalreflektiert wird, sondern durch die Grenzfläche hindurchtritt. In dem reflektierenden Schaltzustand befindet sich der Körper in einer Position, in der die Grenzfläche frei von Flüssigkeit ist, so daß das einfallende Licht an der Grenzfläche zwischen dem optisch dichteren Medium, d. h. dem Material des Basiskörpers, und dem optisch dünneren Medium, d. h. einem in der Kavität befindlichen Gas, totalreflektiert wird.

Der entscheidende Vorteil des Schaltelements ist, daß die für den Schaltvorgang verantwortliche Grenzfläche nicht bewegt wird. Durch die vorzugsweise Verwendung von kollimierten Lichtstrahlen sind keine aufwendig zu realisierende Wellenleiterstrukturen zur Strahlführung im Grundkörper erforderlich. Da der Strahl auch in den am Schaltvorgang beteiligten Ausnehmungen nicht divergiert, weist der erfindungsgemäße optische Mehrfachschalter eine geringe optische Dämpfung und geringes Nebensprechen auf.

Die Verwendung der Begriffe optischer Eingang sowie optischer Ausgang im Gegensatz zu dem Begriff optischer Kanal dient nur einer Vereinfachung der Beschreibung des optischen Schaltelements und seinen Schaltanordnungen. Auf Grund der Umkehrbarkeit der Lichtwege ist eine Verwendung in beiden Strahlrichtungen, also bidirektional, möglich.

Vorzugsweise wird das erfindungsgemäße optische Schaltelement mit Freistrahlen, d. h. mit nicht in Wellenleiterstrukturen geführten Lichtstrahlen betrieben. Dies kann beispielsweise dadurch erreicht werden, daß das mittels Lichtwellenleitern herangeführte Licht vor dem Eintritt in den eigentlichen Schalter kollimiert wird. Grundsätzlich ist es aber auch denkbar, in das optische Schaltelement integrierte optische Strukturen zur Führung von Licht beispielsweise mittels Schicht- oder Grabenwellenleiterstrukturen aufzunehmen, wodurch aber ein komplexerer Aufbau des Basiskörpers erforderlich wird.

Wenn das Schaltelement in den reflektierenden Zustand geschaltet wird, muß sich die Flüssigkeit in möglichst kurzer Zeit vollständig von der Grenzfläche zurückziehen. Dieser Effekt kann dadurch unterstützt werden, daß die an dem Schaltzustand beteiligten Oberflächen der Grenzfläche einer zusätzlichen beispielsweise chemischen- bzw. plasma-chemischen Behandlung unterzogen werden oder mit einem oder mehreren geeigneten Materialien beschichtet werden. In diesem Zusammenhang ist auch eine Feinstrukturierung der relevanten Oberflächen von Vorteil.

Der Basiskörper und der in der Ausnahme bewegbare Körper bestehen zumindest in Teilen aus in dem verwendeten Wellenlängenbereich transparenten Materialien. Bestehen beide Körper aus dem gleichen Material, so hat dies den

Vorteil, daß die Körper den gleichen Brechungsindex haben. Die Flüssigkeit sollte ebenfalls einen ähnlichen Brechungsindex aufweisen.

Der Basiskörper und der bewegbare Körper können aus transparenten Materialien, wie (fluorierte) Polymere mit geringer optischer Absorption in dem gewünschten Spektralbereich, Gläser, mit SolGel-Verfahren hergestellte Materialien, Silberhalogeniden, bestehen. Für die Signalübertragung im sichtbaren Bereich kann konventionelles PMMA Verwendung finden. Im infraroten Spektralbereich sind modifizierte Polymere von Vorteil.

Als Flüssigkeit können auch Mischsysteme unterschiedlicher Substanzen eingesetzt werden. Eine Anpassung des Brechungsindex beispielsweise für PMMA kann im sichtbaren Bereich durch ein Gemisch aus Dekalin und Tetralin erreicht werden.

Als optisch dünneres Medium kann ein Gas oder ein Gasgemisch eingesetzt werden. Hierzu eignet sich ein inertes Gas wie Argon. Vorteilhafterweise weist das Gas schlechte Diffusionseigenschaften auf. Aber auch Luft eignet sich als optisch dünneres Medium.

Von besonderem Vorteil ist, daß die Betätigungseinrichtung zum Umschalten des bewegbaren Körpers zwischen dem transmittierenden und reflektierenden Schaltzustand außerhalb des Strahlengangs angeordnet werden kann. Da der eigentliche Schaltvorgang durch die Flüssigkeit erfolgt, ist eine exakte Führung des bewegbaren Körpers nicht erforderlich, so daß sich die Betätigungseinrichtung ohne großen technischen Aufwand kostengünstig realisieren läßt.

Prinzipiell ist eine direkte mechanische Kopplung zwischen der beispielsweise piezoelektrischen oder thermoelektrischen Betätigungseinrichtung und dem bewegbaren Körper möglich. Vorzugsweise erfolgt die Betätigung des beweglichen Körpers aber berührungslos, so daß die Ausnehmung hermetisch abgekapselt werden kann, wodurch das Schaltelement gegenüber äußeren Einflüssen weitgehend unempfindlich ist.

In einer bevorzugten Ausführungsform weist die Betätigungseinrichtung einen außerhalb der Ausnehmung angeordneten Elektromagneten auf, wobei der bewegbare Körper magnetisch ist. Vorzugsweise ist der aus dem gleichen (nichtmagnetischen) Material wie der Basiskörper bestehende bewegbare Körper an seiner Oberfläche mit einer Schicht oder einem Körper aus einem magnetischen oder einem magnetisierbaren Material versehen. Von der Stromversorgung unabhängige stabile Schaltzustände können mit Permanentmagneten erreicht werden. Anstelle einer elektromagnetischen Betätigungseinrichtung kann auch eine elektrostatische Betätigungseinrichtung vorgesehen sein. In einer weiteren Ausführungsform sind zwei Betätigungseinrichtungen, die auf zwei sich gegenüberliegenden Seiten außerhalb der Ausnehmung angeordnet sind, vorgesehen.

Die Verteilung der Flüssigkeit in der Ausnehmung kann dadurch erfolgen, daß die Flüssigkeit mit dem bewegbaren Körper verdrängt und in den Zwischenraum gedrückt wird. Die Flüssigkeit kann dabei am Boden der Ausnehmung beispielsweise mit einem schwammartigen Material gebunden werden, so daß das Schaltelement lageunabhängig arbeitet. Bei einer alternativen Ausführungsform ist aufgrund von kapillaren Kräften ein Flüssigkeitsfilm zwischen dem bewegbaren Körper und der Wandung der Ausnehmung ausgebildet, der mit dem Körper während des Schaltvorgangs mitgeführt wird. Es können aber auch beide Prinzipien vereint werden.

Die Ausnehmung kann grundsätzlich beliebig ausgebildet sein. Wesentlich ist die Ausrichtung der Grenzfläche zu der Ausbreitungsrichtung des einfallenden Lichts. Der Winkel zwischen der Ausbreitungsrichtung des einfallenden Lichts

und der Grenzfläche ist nicht zwingend in dem Bereich 40° bis 50°. So ist es denkbar, den Einfallswinkel so zu bemessen, daß keine Totalreflexion auftritt. Bei einer solchen Anordnung könnte das Schaltelement auch als Strahlteiler eingesetzt werden. Bevorzugt ist er aber so bemessen, daß eine Totalreflexion auftritt.

Damit beispielsweise die Luft innerhalb der Ausnehmung den Schaltmechanismus nicht behindert, können am Rand der Ausnehmung Entlüftungsschlitze vorgesehen sein. Durch diese Kanäle kann das optisch dünnere Medium dann während des Schaltvorgangs ungehindert strömen. In einer anderen Ausführungsform kann der bewegbare Körper eine entsprechend geeignete Form besitzen.

Mindestens eine Seitenfläche der Ausnehmung bildet eine Lichtaustrittsfläche für das transmittierte Licht. Es ist nicht erforderlich, daß die nicht an der Reflexion beteiligten Seitenflächen die gleiche Oberflächenqualität wie die die Grenzfläche bildenden Seitenflächen aufweisen, sofern diese nicht an der Reflexion beteiligten Seitenflächen im transmittierenden Schaltzustand mit der Flüssigkeit benetzt sind.

In einer Ausführungsform weist die Ausnehmung in der Ebene des Strahlengangs eines Lichtstrahls einen dreieckförmigen Querschnitt auf. In einer anderen Ausführungsform besitzt die Ausnehmung einen viereckförmigen Querschnitt. Vorteilhafterweise weist der bewegbare Körper im wesentlichen die gleiche Querschnittsgeometrie wie die Ausnehmung auf. Es ist auch denkbar, daß zumindest eine der Flächen der Ausnehmung, die als Grenzfläche im reflektierenden Schaltzustand einfallende Lichtstrahlen reflektiert, so geformt und angeordnet ist, daß sie zumindest ein Teil der auf diese Fläche einfallenden Lichtstrahlen bei der Reflexion bündelt.

Der Basiskörper kann vorteilhafterweise weitere Ausnehmungen aufweisen, die zur Aufnahme und Halterung von Lichtwellenleitern beispielsweise Glas- oder Kunststofffasern oder deren Faserbündeln sowie Fasersteckern dienen. Dies können beispielsweise kanalartige Strukturen sein, die jeweils zu einer Außenseite des Basiskörpers hin offen sind, so daß Lichtwellenleiter einfach in definierter Lage in den Basiskörper hineingeschoben werden können. Zur Fixierung der Lichtwellenleiter können zusätzliche klemmartige oder federartige Strukturen vorgesehen sein.

Weiterhin können im Basiskörper auch ein oder mehrere Ausnehmungen zur Aufnahme optischer Elemente vorgesehen sein, die zur Führung des Lichts wegen der relativ hohen Divergenz der aus den Eingangslichtwellenleitern austretenden Lichtstrahlen im allgemeinen erforderlich sind. Zu Kollimierung und/oder Fokussierung des Lichts können als optische Elemente beispielsweise Kugellinsen, Mikrolinsen, GRIN-Linsen, Zylinderlinsen etc. in dem Basiskörper integriert sein. Denkbar ist auch die Aufnahme von beispielsweise zeilenförmigen Mikrolinsensfeldern zur Bündelung von Lichtstrahlen mehrerer optischer Kanäle. Es ist aber auch möglich, das Licht mit integriert optischen Wellenleitern, z. B. Grabenwellenleiter oder Schichtwellenleiter, innerhalb des Basiskörpers effizient zu führen.

Es können aber auch eine oder mehrere zusätzliche Ausnehmungen im Strahlengang angeordnet sein, die so geformt sind, daß sie einfallendes Licht bündeln. Entscheidend ist hierbei neben der Form der Ausnehmung auch der Brechungsindex des in der Ausnehmung enthaltenen Stoffs oder Stoffgemischs.

Gemäß der Erfindung wird im reflektierenden Schaltzustand ein einfallender Lichtstrahl an einer Grenzfläche, die durch eine Fläche der Ausnehmung gebildet wird, reflektiert. Der reflektierte Strahl trifft auf einen Ausgang während im transmittierenden Schaltzustand der Strahl durch

die Ausnehmung hindurch auf einen anderen Ausgang fällt. Es ist aber auch denkbar, mehrere einfallende Lichtstrahlen auf die gleiche von einer Fläche der Ausnehmung gebildeten Grenzfläche fallen zu lassen. Hierdurch sind entsprechend mehr Ausgänge vorzusehen.

In einer anderen Ausführungsform der Erfindung treffen mindestens zwei einfallende Lichtstrahlen auf zwei Grenzflächen, die zwei Flächen der Ausnehmung entsprechen. Vorteilhafterweise liegen die auf die beiden Grenzflächen fallenden Lichtstrahlen in einem Winkel von  $70^\circ$  bis  $110^\circ$  zueinander. Vorzugsweise fällt im transmittierenden Schaltzustand der durch die eine Grenzfläche hindurchtretende Lichtstrahl auf den gleichen Ausgang, auf den im reflektierenden Schaltzustand der andere Lichtstrahl trifft, der von der anderen Grenzfläche reflektiert wird. Die beiden die Grenzflächen bildenden Seitenflächen der Ausnehmung liegen nach einer Ausführungsvariante etwa parallel zueinander. In einer zweiten Ausführungsvariante bilden diese beiden Flächen der Ausnehmung einen Winkel von  $70^\circ$  bis  $110^\circ$  vorzugsweise von etwa  $90^\circ$ . Es sind jedoch auch andere Geometrien denkbar.

Bevorzugt wird bei dieser zweiten Variante ein Querschnitt der Ausnehmung und des bewegbaren Körpers, der in der Ebene des Strahlengangs eines Lichtstrahls einem gleichschenkeligen Dreieck entspricht. Solch eine Anordnung weist bei zwei einfallenden Lichtstrahlen vorzugsweise drei Ausgänge auf, wobei ein Ausgang sowohl einem transmittierten als auch einem anderen reflektierten Lichtstrahl entspricht.

Damit diese Anordnung nur zwei Ausgänge aufweist, sind zwei zusätzliche reflektierende Flächen vorzusehen, an denen der eine transmittierte Lichtstrahl so reflektiert, vorzugsweise totalreflektiert wird, daß dieser auf den Ausgang fällt, auf den im reflektierenden Schaltzustand ein anderer reflektierter Lichtstrahl trifft. Diese beiden zusätzlichen Flächen bilden vorzugsweise einen Winkel von  $70^\circ$  bis  $110^\circ$  zueinander. In einer ersten Ausführungsform werden diese beiden Flächen durch zwei Außenflächen des Basiskörpers gebildet. In einer zweiten Ausführungsform werden diese beiden Flächen durch mindestens eine zusätzliche, vorzugsweise mit einem optisch dünneren Stoff oder Stoffgemisch gefüllten Ausnehmung gebildet. In einer dritten Ausführungsform entsprechen diese beiden Flächen zwei im transmittierenden Schaltzustand nicht mit Flüssigkeit benetzten Flächen des bewegbaren Körpers. Hierbei weist der bewegbare Körper in der Ebene des Strahlengangs eines Lichtstrahls einen vorzugsweise quadratischen Querschnitt auf. Während es bei den anderen Ausführungsformen nur auf eine exakte Lage der durch eine oder mehrere Seitenflächen der Ausnehmung gebildeten Grenzfläche ankommt und die Führung des bewegbaren Körpers keiner hohen Präzision bedarf, ist es nach diesem Ausführungsbeispiel erforderlich, die Lage des bewegbaren Körpers im transmittierenden Schaltzustand möglichst genau festzulegen.

In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung sind mehr als zwei wahlweise transmittierende oder reflektierende Grenzflächen, die von entsprechend vielen Flächen der Ausnehmung gebildet werden, vorgesehen. Die Ausnehmung und der bewegbare Körper weisen beispielsweise einen quadratischen Querschnitt auf, wodurch vier Grenzflächen möglich sind. Vorzugsweise fallen je ein reflektierter Strahl und je ein transmittierter Strahl, in unterschiedlichen Schaltzuständen, auf den gleichen Ausgang.

Bei den bisher beschriebenen Ausführungsformen können auch an der Grenzfläche oder den Grenzflächen mehr als ein Lichtstrahl wahlweise reflektiert oder transmittiert werden. Hierbei sind im wesentlichen zwei Anordnungen oder Kombinationen dieser beiden Anordnungen denkbar. Nach

der ersten Anordnung liegen die einfallenden Lichtstrahlen mit ihnen im reflektierenden Schaltzustand reflektierten Anteilen im wesentlichen in einer Ebene. Nach der zweiten Anordnung steht die Ebene der einfallenden Lichtstrahlen zu der Ebene ihrer reflektierten Anteile vorzugsweise in einem rechten Winkel.

Um bei mehreren auf eine Grenzfläche einfallenden Lichtstrahlen zu vermeiden, daß der bewegbare Körper über den gesamten Bereich der im Strahlengang liegenden Grenzfläche bewegt werden muß, kann es vorteilhaft sein, daß der bewegbare Körper parallel zu der Ebene des Strahlengangs eines Lichtstrahls zwei Bereiche unterschiedlichen Querschnittes aufweist. Die Bereiche größeren Querschnittes liegen vorteilhafterweise so nahe an mindestens einer Fläche der Ausnehmung, daß zwischen diesen Bereichen und der entsprechenden Fläche der Ausnehmung ein Flüssigkeitsfilm bestehen bleiben kann. Die zwischen den Bereichen größeren Querschnittes liegenden Bereiche kleineren Querschnittes weisen vorzugsweise solch einen Abstand zur entsprechenden Fläche der Ausnehmung auf, daß sich dazwischen kein Flüssigkeitsfilm ausbilden kann. Um von dem transmittierenden in den reflektierenden Schaltzustand zu gelangen, braucht der bewegbare Körper nur soweit verschoben werden, daß anstatt der Bereiche mit größerem Querschnitt die nächstliegenden Bereiche kleineren Querschnittes des bewegbaren Körpers an die im Strahlengang liegenden Bereiche der Grenzfläche grenzen.

Der unabhängige Patentanspruch 30 betrifft eine Schaltungsanordnung mit N-optischen Eingängen und M-optischen Ausgängen, wobei N und M ganze Zahlen sind, z. B. eine  $1 \times 3$ - oder eine  $4 \times 4$ -Schaltmatrix. Um N-Eingänge auf M-Ausgänge schalten zu können, sind nach Art einer  $N \times M$ -Matrix mit N-Zeilen und M-Spalten angeordnete Schaltelemente vorgesehen, die nach einer Ausführungsform in einem gemeinsamen Basiskörper untergebracht sind.

In einer erweiterten Ausführungsform sind neben den N optischen Eingängen und M optischen Ausgängen weitere N optische Ausgänge vorgesehen. Darüberhinaus besteht auch die Möglichkeit,  $2 \times N$  optische Eingänge und  $2 \times M$  optische Ausgänge mit  $N \times M$  optischen Schaltelementen in Matrixanordnung vorzusehen.

Soll von N Eingangskanälen jeweils ein bestimmter Eingang auf nur den entsprechenden Ausgang entweder von N ersten Ausgangskanälen oder von N zweiten Ausgangskanälen geschaltet werden, so kann auch eine Schaltungsanordnung zweckmäßig sein, bei der N Schaltelemente in der Art einer Diagonalen einer  $N \times N$  Matrix angeordnet sind.

Das Licht kann in die bzw. aus der Schaltungsanordnung mittels optischen Lichtwellenleitern geführt werden. Zur Ankopplung der Lichtwellenleiter der Schaltelemente sind beispielsweise in dem gemeinsamen Basiskörper N-parallele Kanäle zur Aufnahme der N-Eingangslightwellenleiter und M-parallele Kanäle zur Aufnahme der M-Ausgangslightwellenleiter vorgesehen, wobei die Eingangskanäle im Sinne eines einfachen geometrischen Aufbaus in einem Winkel von  $70^\circ$  bis  $110^\circ$  zu den Ausgangskanälen und die Grenzflächen der Ausnehmungen der einzelnen Schaltelemente in einem Winkel von  $40^\circ$  bis  $50^\circ$  zu den Eingangs- bzw. Ausgangskanälen angeordnet sind. Der Basiskörper besteht vorteilhafterweise aus einer Bodenplatte, einer strukturierten Platte und einer Deckplatte.

In einer weiteren Ausführungsform sind die einzelnen Schaltelemente als eigenständige Schaltmodule realisiert, die in eine Matrixplatte mit entsprechenden, beispielsweise nach Art einer Matrix angeordneten Ausnehmungen eingesetzt werden können. Die Matrixplatte ist vorteilhafterweise mit zur Aufnahme von Lichtwellenleitern und/oder optischen Komponenten geeigneten weiteren Ausnehmungen

versehen. Mit diesem modularen Aufbau lassen sich vorteilhaft Schaltanordnungen aus gleichen oder unterschiedlichen Schaltmodulen flexibel aufbauen und rekonfigurieren.

Zumindest Teile des Basiskörpers, des bewegbaren Körpers, der Betätigungseinrichtung und/oder der Matrixplatte lassen sich vorteilhaft mit mikrotechnischen Verfahren, beispielsweise mittels des LIGA-Verfahrens, kostengünstig in großen Stückzahlen herstellen.

Die hier beschriebenen optischen Schaltelemente und deren Schaltanordnungen lassen sich besonders vorteilhaft im Bereich der optischen Nachrichtentechnik, insbesondere zum wahlweise Verbinden oder Entkoppeln von optischen Nachrichtenkanälen sowie zum Einkoppeln von optischen Komponenten in bestehende optische Verbindungen, verwenden. Auf Grund der möglichen rechtwinkligen Anordnung der reflektierten zu den transmittierten Lichtstrahlen, lassen sich mit den erfindungsgemäßen Schaltelementen und deren Schaltanordnungen analog zu den in der Mikroelektronik bekannten Bussystemen mit rechtwinklig angeordneten Steckkarten und Platinen kompakte optische Bussysteme realisieren.

Im Folgenden werden mehrere Ausführungsbeispiele der Erfindung unter Bezugnahme auf die Zeichnungen näher erläutert.

Es zeigen:

**Fig. 1** eine auf dem Prinzip des Flüssigkeitsfilms beruhende Ausführungsform des Schaltelements in schematischer Darstellung, wobei das Schaltelement den Schaltzustand der Reflexion einnimmt,

**Fig. 2** einen Schnitt durch das Schaltelement von **Fig. 1** entlang der Linie A-A',

**Fig. 3a** das Schaltelement von **Fig. 1** im transmittierenden Schaltzustand,

**Fig. 3b** das Schaltelement von **Fig. 1** im transmittierenden Schaltzustand, wobei der bewegbare Körper eine andere Position einnimmt als in **Fig. 3a**,

**Fig. 4a** einen Schnitt durch das Schaltelement von **Fig. 3a** entlang der Linie B-B',

**Fig. 4b** einen Schnitt durch das Schaltelement von **Fig. 3b** entlang der Linie C-C',

**Fig. 5a** eine Ausführungsform, die sowohl auf dem Prinzip des Flüssigkeitsfilms als auch auf dem Prinzip der Verdrängung beruhen kann, wobei das Schaltelement den Schaltzustand der Reflexion einnimmt,

**Fig. 5b** das Schaltelement von **Fig. 5a** im transmittierenden Schaltzustand,

**Fig. 6a** einen Schnitt durch ein auf dem Prinzip des Flüssigkeitsfilms beruhendes Schaltelement im reflektierenden Schaltzustand nach **Fig. 5a** entlang der Linie D-D',

**Fig. 6b** einen Schnitt durch ein auf dem Prinzip des Flüssigkeitsfilms beruhendes Schaltelement im transmittierenden Schaltzustand nach **Fig. 5b** entlang der Linie E-E',

**Fig. 7** einen Schnitt durch ein auf dem Prinzip der Verdrängung beruhendes Schaltelement im reflektierenden Schaltzustand nach **Fig. 5a** entlang der Linie D-D',

**Fig. 8** einen Schnitt durch ein auf dem Prinzip der Verdrängung beruhendes Schaltelement im reflektierenden Schaltzustand nach **Fig. 5b** entlang der Linie E-E',

**Fig. 9a** eine auf dem Prinzip des Flüssigkeitsfilms beruhende Ausführungsform des Schaltelements, wobei das Schaltelement im transmittierenden Zustand ist und die Ausnehmung und der bewegbare Körper einen viereckigen Querschnitt aufweisen,

**Fig. 9b** das Schaltelement nach **Fig. 9a** im reflektierenden Zustand,

**Fig. 10a** ein Ausführungsbeispiel des Schaltelements mit einem parallelogrammförmigen Querschnitt der Ausnehmung und des bewegbaren Körpers, wobei das Schalte-

ment im transmittierenden Zustand ist,

**Fig. 10b** das Schaltelement nach **Fig. 10a** im reflektierenden Zustand,

**Fig. 11a** ein weiteres Ausführungsbeispiel des Schaltelements mit einem dreieckförmigen Querschnitt der Ausnehmung und des bewegbaren Körpers, wobei das Schaltelement im transmittierenden Zustand ist,

**Fig. 11b** das Schaltelement nach **Fig. 11a** im reflektierenden Zustand,

**Fig. 12** ein Schaltelement nach **Fig. 11a** mit zwei zusätzlichen reflektierenden Flächen am Basiskörper,

**Fig. 13** ein Schaltelement nach dem in **Fig. 12** dargestellten Prinzip, wobei der bewegbare Körper zwei zusätzliche reflektierende Flächen aufweist,

**Fig. 14a** ein Ausführungsbeispiel des Schaltelements als optischer Mehrfachschalter im transmittierenden Schaltzustand mit quadratischem Querschnitt der Ausnehmung und des bewegbaren Körpers,

**Fig. 14b** der optische Mehrfachschalter nach **Fig. 14a** im reflektierenden Schaltzustand,

**Fig. 15** ein Ausführungsbeispiel des Schaltelements als optischer Mehrfachschalter, wobei die einfallenden und die reflektierten Lichtstrahlen in einer Ebene liegen,

**Fig. 16a** ein weiteres Ausführungsbeispiel des Schaltelements im transmittierenden Zustand als Mehrfachschalter mit einem bewegbaren Körper mit im Querschnitt unterschiedlichen Bereichen, dargestellt in der Ebene der transmittierten Lichtstrahlen,

**Fig. 16b** das Schaltelement nach **Fig. 16a** im reflektierenden Schaltzustand, wobei die Ebene der einfallenden Lichtstrahlen mit der hier nicht dargestellten Ebene ihrer reflektierten Lichtstrahlen einen Winkel von etwa 90° bildet,

**Fig. 17** eine Schaltanordnung mit 4 Ein- und 4 Ausgangskanälen mit nach Art einer 4×4 Matrix angeordneten Schaltelementen in perspektivischer schematischer Darstellung,

**Fig. 18** eine Schaltanordnung mit 2×3 Ein- und 2×3 Ausgangskanälen mit nach Art einer 2×3 Matrix angeordneten Schaltelementen in schematischer Darstellung,

**Fig. 19** eine Schaltanordnung mit 3 Ein- und 2×3 Ausgangskanälen mit 3 nach Art einer Diagonalen einer 3×3 Matrix angeordneten Schaltelementen in schematischer Darstellung.

Die **Fig. 1** bis **4** zeigen in schematischer Darstellung die Schaltzustände eines Schaltelements **1**, das auf dem Prinzip des Flüssigkeitsfilms beruht. Das Schaltelement weist einen Basiskörper **2** aus transparentem Material mit einer Ausnehmung **3** auf. Die Ausnehmung **3** umfaßt eine Grenzfläche **4**, auf die das einfallende Licht **5**, unter einem Winkel von etwa 45° trifft. Die rückwärtigen Seitenflächen **6, 7** der Ausnehmung **3** schließen mit der Grenzfläche **4** einen Winkel von jeweils 45° ein. An der Unter- und Oberseite wird die Ausnehmung **3** von ebenen Flächen **8, 9** begrenzt, die mit Seitenflächen **6, 7** einen Winkel von 90° einschließen.

In der Ausnehmung **3** befindet sich ein Körper **10** mit dem Querschnitt eines gleichschenkeligen Dreiecks. Der dreieckförmige Körper ist in der Ausnehmung **3** mittels einer in den **Fig. 1** bis **4** nicht dargestellten Betätigungseinrichtung in der XY-Ebene unter Bildung eines schmalen Spaltes **12** zwischen seinen Seitenflächen und den Seitenflächen **6, 7** bzw. der Grenzfläche **4** der Ausnehmung **3** sowie seiner Ober- und Unterseite und den oberen und unteren Flächen **8, 9** der Ausnehmung bewegbar. Die Ausnehmung **3** enthält darüber hinaus eine Flüssigkeit **13** mit einem Brechungsindex, der etwa gleich dem Brechungsindex des Materials ist, aus dem der Basiskörper und der bewegbare Körper bestehen. Die Flüssigkeitsmenge ist derart bemessen, daß sich aufgrund von Adhäsionskräften ein Flüssigkeitsfilm in dem schmalen Spalt **12** bildet, der übrige Bereich in der Aus-

mung 3 im wesentlichen jedoch nicht mit der Flüssigkeit gefüllt ist.

In dem in den Fig. 1 und 2 gezeigten Schaltzustand ist die Grenzfläche 4, auf die das einfallende Licht 5 trifft, nicht mit der Flüssigkeit 13 benetzt, so daß das einfallende Licht an der Grenzfläche totalreflektiert wird. Das einfallende Licht 5 und das aus dem Basiskörper 2 austretende Licht 14 schließt einen Winkel von 90° ein.

Um das Schaltelement 1 in den transmittierenden Schaltzustand umzuschalten, wird der dreieckförmige Körper 10 mittels der Betätigungseinrichtung derart in der Ausnehmung 3 verschoben, daß der schmale Spalt 12 zwischen der Grenzfläche 4 und dem Körper 10 liegt, so daß der Bereich der Grenzfläche, auf der das einfallende Licht 5 trifft, vollständig von der Flüssigkeit 13 bedeckt ist. Dabei kann der bewegbare Körper 10 die in den Fig. 3a bzw. 4a und 3b bzw. 4b dargestellten Positionen einnehmen. Allein entscheidend ist, daß der im Strahlengang des einfallenden Lichts 5 liegende Bereich der Grenzfläche 4 vollständig mit der Flüssigkeit bedeckt ist. Da der Basiskörper 1, die Flüssigkeit 13 und der dreieckförmige Körper 10 in etwa den gleichen Brechungsindex haben, tritt das einfallende Licht 5 aus dem Basiskörper 2 wieder aus, ohne seine Richtung zu verändern. Im rechten Winkel zu den Seitenflächen 6, 7 einfallendes Licht wird in diesem Schaltzustand ebenfalls nicht reflektiert, sondern kann ungehindert durch das Schaltelement hindurchtreten (austretende Lichtstrahl 14).

Die Fig. 5a und 5b zeigen eine Ausführungsform des Schaltelements 15, daß sowohl nach dem Prinzip des Flüssigkeitsfilms als auch nach dem Prinzip der Verdrängung arbeiten kann. Das Schaltelement 15 unterscheidet sich von dem unter Bezugnahme auf die Fig. 1 bis 4 beschriebenen Schaltelement 1 dadurch, daß der dreieckförmige Körper 16 in vertikaler Richtung bewegbar in der Ausnehmung 20 des Basiskörpers 21 geführt ist.

Die Fig. 6a und 6b zeigen die Ausführungsform eines auf dem Prinzip des Flüssigkeitsfilms beruhenden Schaltelements 15 nach den Fig. 5a bzw. 5b im Schnitt in schematischer Darstellung. Aufgrund von Adhäsionskräften verbleibt die Flüssigkeit 22 bei der Bewegung des dreieckförmigen Körpers 16 zwischen den Oberflächen. In dem in Fig. 6a dargestellten Schaltzustand ist die Grenzfläche 19 nicht mit dem Flüssigkeitsfilm 22 bedeckt, so daß das einfallende Licht 23 totalreflektiert wird. Befindet sich der dreieckförmige Körper 16 in der Höhe des Strahlengangs, so wird das einfallende Licht 23 nicht abgelenkt (Fig. 6b). Der Flüssigkeitsfilm wirkt zudem als Gleitfilm und reduziert die Abnutzung der reflektierenden Flächen.

Die Betätigung des dreieckförmigen Körpers 16 erfolgt mittels einer elektromagnetischen Betätigungseinrichtung 24, die außerhalb der Ausnehmung oberhalb des bewegbaren Körpers 16 angeordnet ist. Die Betätigungseinrichtung 24 weist einen Elektromagneten 25 auf, z. B. mit einer lithographisch hergestellten Spule, wobei der bewegbare Körper 16 an seiner Ober- und Unterseite mit einem magnetischen oder magnetisierbarem Material 16' versehen ist.

Die Fig. 7 und 8 zeigen die Ausführungsform eines auf dem Prinzip der Verdrängung beruhenden Schaltelements nach Fig. 5a bzw. 5b im Schnitt in schematischer Darstellung, wobei die Elemente, die den Elementen des Ausführungsbeispiels gemäß den Fig. 5a bis 6b entsprechen, mit den gleichen Bezugszeichen versehen sind. Der bewegbare Körper 16 wird mittels der elektromagnetischen Betätigungseinrichtung 24 in vertikaler Richtung bewegt. In dem in Fig. 7 dargestellten Schaltzustand der Totalreflexion, liegt der Flüssigkeitsspiegel außerhalb des Bereichs der Grenzfläche 19, auf die das einfallende Licht 23 trifft. Im Schaltzustand der Transmission, wird die Flüssigkeit von einem drei-

eckförmigen Körper 16 verdrängt, so daß der untere Bereich der Ausnehmung vollständig mit einem Medium aufgefüllt ist, daß etwa den gleichen Brechungsindex wie der Basiskörper hat (Fig. 8).

Die Fig. 9a und 9b zeigen eine auf dem Prinzip des Flüssigkeitsfilms beruhende Ausführungsform, wobei die Ausnehmung 3 und der bewegbare Körper 10 in der Ebene des Strahlengangs eines Lichtstrahls einen viereckigen Querschnitt aufweisen. Zwischen den parallelen Flächen 60, 61 der Ausnehmung 3 und dem bewegbaren Körper 10 befindet sich ein Flüssigkeitsfilm 26. Fig. 9a zeigt das Schaltelement in dem transmittierenden Zustand. In Fig. 9b befindet sich der bewegbare Körper 10 außerhalb des Strahlengangs, so daß die beiden Flächen 60, 61 nicht mit der Flüssigkeit benetzt sind. Mit diesem Schaltelement kann der Eingang E1 wahlweise mit dem Ausgang A1 oder A2 verbunden werden, wobei gleichzeitig der Eingang E2 mit dem Ausgang A2 bzw. A1 verbunden wird.

Die Fig. 10a und 10b zeigen eine weitere Ausführungsform des Schaltelements mit einem in der Ebene des Strahlengangs eines Lichtstrahls parallelogrammförmigen Querschnitt der Ausnehmung 3 und des bewegbaren Körpers 10. Dieses Schaltelement kann nach dem Prinzip des Flüssigkeitsfilms und nach dem Prinzip der Verdrängung oder einer Kombination aus beiden Prinzipien betrieben werden. Die beiden parallelen Seitenflächen 60, 61 der Ausnehmung 3 sind so weit voneinander entfernt, daß im Gegensatz zu den Fig. 9a und 9b der Eingang E2 und der Ausgang A1 im transmittierenden Schaltzustand nicht miteinander verbunden sind. Im transmittierenden Zustand ist in Fig. 10a der Eingang E1 mit dem Ausgang A2 verbunden. Fig. 10b zeigt den reflektierenden Schaltzustand, bei dem die Eingänge E1 und E2 mit den Ausgängen A1 bzw. A2 verbunden sind.

Ein weiteres Ausführungsbeispiel ist in den Fig. 11a und 11b dargestellt. Die Ausnehmung 3 und der bewegbare Körper 10 besitzen hier die Form eines gleichschenkeligen Dreiecks. Der Winkel zwischen den beiden Seitenflächen 60, 61 beträgt hier etwa 45°. In Fig. 11a ist der transmittierende Schaltzustand dargestellt, bei dem der Eingang E1 mit dem Ausgang A2 verbunden ist. Im reflektierenden Schaltzustand (Fig. 11b) werden an den die Grenzflächen bildenden Seitenflächen 60, 61 die einfallenden Lichtstrahlen im wesentlichen totalreflektiert, so daß die Eingänge E1 und E2 mit den Ausgängen A1 bzw. A2 verbunden sind.

Eine zusätzliche Ausführungsform des Schaltelements ist in Fig. 12 im transmittierenden Schaltzustand dargestellt. Im reflektierenden Schaltzustand hat dieses Schaltelement die gleiche Wirkungsweise wie das in Fig. 11b dargestellte Schaltelement. Durch die beiden zusätzlichen Flächen 62, 63 am Basiskörper 2, die hier einen Winkel von etwa 90° einnehmen, wird ein Lichtstrahl aus dem Eingang E2 im transmittierenden Schaltzustand durch die Ausnehmung 3 hindurch in Richtung des Ausgangs A1 reflektiert. Vorzugsweise befindet sich außerhalb des Schaltkörpers 2 ein optisch dünneres Medium, so daß es sich bei der Reflexion an den Flächen 62, 63 um eine Totalreflexion handelt. Um diese Flächen 62, 63 vor äußeren Einflüssen zu schützen, können diese auch in Form einer zusätzlichen Ausnehmung im Basiskörper 2 untergebracht sein.

Das in Fig. 12 dargestellte Prinzip der Umlenkung eines transmittierenden Lichtstrahls liegt auch der Darstellung eines transmittierenden Schaltelements in Fig. 13 zu Grunde. Der Spalt zwischen den beiden Seitenflächen 60, 61 der Ausnehmung 3 und dem bewegbaren Körper 10 ist hier mit einem Flüssigkeitsfilm 13 gefüllt. Dagegen sind die beiden gegenüberliegenden Flächen 64, 65 des bewegbaren Körpers 10, aufgrund des größeren Abstands zu den Seitenflächen 66, 67 der Ausnehmung, nicht mit der Flüssigkeit 13



benutzt. Die beiden Flächen **64, 65** nehmen den Winkel von etwa  $90^\circ$  zueinander ein, so daß ein aus dem Eingang **E2** kommender und durch die Fläche **61** der Ausnehmung **3** hindurchtretender Lichtstrahl an diesen beiden Flächen **64, 65** in Richtung des Ausgangs **A1** totalreflektiert wird.

In **Fig. 14a** ist ein Schaltelement im transmittierenden Schaltzustand dargestellt, das als optischer Mehrfachschalter dient. Alle vier Flächen der im Querschnitt quadratischen Ausnehmung **3** dienen als Grenzflächen zur wahlweisen Transmission oder Reflexion von Licht. In dem hier dargestellten Beispiel sind die Eingänge **E1, E2, E3** und **E4** mit den Ausgängen **A2, A3, A4** bzw. **A1** verbunden. In dem in **Fig. 14b** dargestellten reflektierenden Schaltzustand sind die Eingänge **E1, E2, E3** und **E4** mit den Ausgängen **A1, A2, A3** bzw. **A4** verbunden.

**Fig. 15** zeigt ein Schaltelement mit mehreren optischen Ein- und Ausgängen im reflektierenden Schaltzustand. Auf die eine Grenzfläche **4** der dreieckförmigen Ausnehmung **3** treffen drei Lichtstrahlen aus den Eingängen **E1, E2** und **E3** und werden in Richtung der Ausgänge **A1, A2** und **A3** totalreflektiert. In dem hier nicht dargestellten transmittierenden Schaltzustand treffen die einfallenden Lichtstrahlen auf die hier angeordneten Ausgänge **B1, B2** bzw. **B3**. Die einfallenden und die reflektierten Lichtstrahlen liegen hier im wesentlichen in einer Ebene.

In einer anderen Ausführungsform eines optischen Mehrfachschalters bildet die Ebene der einfallenden Lichtstrahlen mit der Ebene ihrer reflektierten Lichtstrahlen einen Winkel von vorzugsweise  $70^\circ$  bis  $110^\circ$ . Dies ist in den **Fig. 16a** und **16b** anhand eines Querschnitts durch ein optisches Schaltelement, beispielsweise nach **Fig. 11a, 11b** oder **Fig. 12**, mit zwei in der Querschnittsebene liegenden Eingängen gezeigt.

**Fig. 16a** zeigt den transmittierenden Schaltzustand. Die Eingänge **E1(1)** und **E1(2)** sind auf die Ausgänge **A2(1)** bzw. **A2(2)** geschaltet. Anstatt je eines sich über die Seitenflächen **60** sowie **61** erstreckenden Flüssigkeitsfilms zwischen der Ausnehmung **3** und dem bewegbaren Körper **10**, ist der bewegbare Körper **10** so geformt, daß er Bereiche größeren Querschnitts und dazwischenliegende Bereiche kleineren Querschnitts aufweist. Die Bereiche größeren Querschnitts grenzen so nahe an die Ausnehmung **3** heran, daß sich dort zwischen dem bewegbaren Körper **10** und der Grenzfläche **60, 61** der Ausnehmung **3** ein Flüssigkeitsfilm **13** bildet. Zwischen den Bereichen kleineren Querschnitts des bewegbaren Körpers und der Grenzfläche **60, 61** der Ausnehmung **3** besteht kein Flüssigkeitsfilm. Um vom transmittierenden in den reflektierenden Schaltzustand zu gelangen, braucht der bewegbare Körper **10** nur soweit verschoben werden, daß in den Strahlengang ein Bereich kleineren Querschnitts des bewegbaren Körpers zu liegen kommt, so daß die Grenzflächen **60, 61** im Bereich des Strahlengangs nicht mit der Flüssigkeit **13** benetzt sind (**Fig. 16b**). Die hier dargestellten die Ausgänge **A2(1)** und **A2(2)** verlassenden Lichtstrahlen stellen die aus den Eingängen **E2(1)** und **E2(2)** kommenden, an der Grenzfläche **61** reflektierten Lichtstrahlen dar.

**Fig. 17** zeigt einen  $4 \times 4$  Matrixschalter, mit dem jeder der 4 optischen Eingänge **N<sub>1</sub> bis N<sub>4</sub>** auf jeden der 4 optischen Ausgänge **M<sub>1</sub> bis M<sub>4</sub>** geschaltet werden kann. Der Matrixschalter weist einen flachen Basiskörper **30** auf, der aus einer Bodenplatte **31**, einer strukturierten mittleren Platte **32** und einer Deckplatte **33** besteht. Die strukturierte Platte **32** nimmt nach Art einer  $4 \times 4$  Matrix angeordnete Schaltelemente **1, 15**, der oben beschriebenen Art auf. Die Ausnehmungen der Schaltelemente **1, 15**, die mit der oberen Platte **33** abgedeckt werden, sind in **Fig. 17** mit dem Bezugszeichen **34** versehen. Die Eingangs- und Ausgangsfasern **35** bis **38** bzw. **39** bis **42** sind kaskadenartig in den Kanälen **43** bis

**46** bzw. **47** bis **50** der strukturierten Platte **32** angeordnet, um unabhängig vom jeweiligen Schaltzustand eine einheitliche optische Weglänge zu gewährleisten. Die Eingangskanäle **43** bis **46** verlaufen dabei etwa im rechten Winkel zu den Ausgangskanälen **47** bis **50**, wobei die Grenzflächen der Ausnehmungen **34** der Schaltelemente **1, 15** in einem Winkel von etwa  $45^\circ$  zu den Eingangs- bzw. Ausgangskanälen angeordnet sind. Zur Kollimierung bzw. Fokussierung des Lichts sind Kugellinsen **53** vorgesehen. Die Kugellinsen **53** sind in Vertiefungen **54** der strukturierten Platte **32** des Basiskörpers **30** eingesetzt, die zwischen den Lichtaustrittsden der Eingangsfasern **35–38** bzw. Ausgangsfasern **39–42** und den Schaltelementen **1, 15** angeordnet sind. Auf der Deckplatte **33** des Basiskörpers **30** ist eine weitere Platte **51** befestigt, in der die den einzelnen Schaltelementen zugeordneten Elektromagneten **52** der Betätigungseinrichtung integriert sind. Durch Umschalten der einzelnen Schaltelemente von dem transmittierenden in den reflektierenden Zustand oder umgekehrt kann jeder Eingangskanal **N<sub>1</sub> bis N<sub>4</sub>** wahlweise auf jeden Ausgangskanal **M<sub>1</sub> bis M<sub>4</sub>** geschaltet werden.

**Fig. 18** zeigt eine weitere Ausführungsform einer Schaltanordnung mit 5 optischen Eingängen **E1(1), E1(2)** und **E2(1), E2(2), E2(3)** sowie 5 optischen Ausgängen **A1(1), A1(2)** und **A2(1), A2(2), A2(3)** und  $2 \times 3$  erfindungsgemäßen Schaltelementen mit jeweils zwei parallelen Seitenflächen in Matrixanordnung. In dieser schematischen Darstellung wurden der Übersichtlichkeit halber die Ein- und Ausgangslichtwellenleiter und optische Elemente zur Strahlfokussierung weggelassen. Die Schaltelemente in den Matrixpositionen **(1, 1)** und **(2, 2)** sind in diesem Beispiel auf Reflexion geschaltet, während die übrigen Schaltelemente, in der **Fig. 18** schraffiert dargestellt, auf Transmission geschaltet sind. Dadurch werden die Eingänge **E1(1), E1(2), E2(1), E2(2), E2(3)** mit den Ausgängen **A1(1), A1(2), A2(1), A2(2)** bzw. **A1(3)** optisch verbunden.

**Fig. 19** zeigt eine Ausführungsform einer Schaltanordnung mit drei diagonal angeordneten Schaltelementen **1a, 1b, 1c** in schematischer Darstellung, bei der drei optische Eingänge **N<sub>1</sub> bis N<sub>3</sub>** wahlweise auf drei optische Ausgänge **A<sub>1</sub> bis A<sub>3</sub>** oder auf drei optische Ausgänge **B<sub>1</sub> bis B<sub>3</sub>** geschaltet werden können. Das Schaltelement **1a** ist dem Eingang **N<sub>1</sub>** und dem Ausgang **A<sub>1</sub>** bzw. **B<sub>1</sub>** zugeordnet, das Schaltelement **1b** ist dem Eingang **N<sub>2</sub>** und dem Ausgang **A<sub>2</sub>** bzw. **B<sub>2</sub>** und das Schaltelement **1c** ist dem Eingang **N<sub>3</sub>** und dem Ausgang **A<sub>3</sub>** bzw. **B<sub>3</sub>** zugeordnet. Werden die Schaltelemente **1a, 1b, 1c** in den transmittierenden Zustand geschaltet, sind die Eingänge **N<sub>1</sub>, N<sub>2</sub>, N<sub>3</sub>** mit den Ausgängen **A<sub>1</sub> bzw. A<sub>2</sub> bzw. A<sub>3</sub>** verbunden. Im reflektierenden Schaltzustand wird das Licht abgelenkt, so daß die Eingänge **N<sub>1</sub>, N<sub>2</sub>, N<sub>3</sub>** mit den Ausgängen **B<sub>1</sub> bzw. B<sub>2</sub> bzw. B<sub>3</sub>** verbunden sind. Ist nur ein gleichzeitiges Schalten der drei Schaltelemente in den transmittierenden bzw. reflektierenden Schaltzustand gewünscht, so kann anstelle von drei einzelnen Schaltelementen auch nur ein entsprechend größer dimensioniertes Schaltelement vorgesehen sein, auf dessen Grenzfläche das Licht der drei optischen Kanäle einfällt (**Fig. 15**).

#### Bezugszeichenliste

- 1 Schaltelement
- 2 Basiskörper
- 3 Ausnehmung
- 4 Grenzfläche
- 5 einfallender Lichtstrahl
- 6 rückwärtige Seitenfläche der Ausnehmung
- 7 rückwärtige Seitenfläche der Ausnehmung
- 8 Unterseite der Ausnehmung



- 9 Oberseite der Ausnehmung
- 10 bewegbarer Körper
- 12 Spalt
- 13 Flüssigkeit
- 14 austretender Lichtstrahl
- 15 Schaltelement
- 16 bewegbarer Körper
- 16' magnetische Schicht
- 19 Grenzfläche
- 20 Ausnehmung
- 21 Basiskörper
- 22 Flüssigkeit
- 23 einfallendes Licht
- 24 Betätigungseinrichtung
- 25 Elektromagnet
- 26 Flüssigkeit
- 30 Basiskörper
- 31 Bodenplatte
- 32 strukturierte Platte
- 33 Deckplatte
- 34 Ausnehmung
- 35-38 Eingangsfaser
- 39-42 Ausgangsfaser
- 43-46 Kanal
- 47-50 Kanal
- 51 Platte mit Betätigungseinrichtung
- 52 Elektromagnet
- 53 Kugellinse
- 54 Vertiefung
- 60 Seitenfläche der Ausnehmung
- 61 Seitenfläche der Ausnehmung
- 62 zusätzliche Fläche des Basiskörpers
- 63 zusätzliche Fläche des Basiskörpers
- 64 Seitenfläche des bewegbaren Körpers
- 65 Seitenfläche des bewegbaren Körpers
- 66 Seitenfläche der Ausnehmung
- 67 Seitenfläche der Ausnehmung

## Patentansprüche

1. Optisches Schaltelement zum Ändern der Ausbreitungsrichtung von mindestens einem Lichtstrahl mit einem zumindest entlang des Strahlengangs lichtdurchlässigen Basiskörper (2), der zur Bildung mindestens einer Grenzfläche (4) zwischen einem optisch dichteren Medium und einem optisch dünneren Medium eine Ausnehmung (3) aufweist, wobei der einfallende Lichtstrahl (5) auf die Grenzfläche (4) trifft, **dadurch gekennzeichnet**,  
 daß die Ausnehmung (3) eine Flüssigkeit (13) und einen in der Ausnehmung bewegbaren Körper (10, 16) enthält, wobei die Flüssigkeit derart beschaffen und der bewegbare Körper derart ausgebildet und in der Ausnehmung zwischen einer Position, in der das optische Schaltelement in dem transmittierenden Schaltzustand ist, und einer Position, in der das optische Schaltelement in dem reflektierenden Schaltzustand ist, bewegbar ist, daß zumindest der im Strahlengang des einfallenden Lichts liegende Bereich des Spaltes (12) zwischen der Grenzfläche (4) und der Oberfläche des bewegbaren Körpers in dem transmittierenden Schaltzustand vollständig mit der Flüssigkeit gefüllt ist, und in dem reflektierenden Schaltzustand die Grenzfläche frei von der Flüssigkeit ist, so daß das einfallende Licht an der Grenzfläche im wesentlichen reflektiert wird und daß mindestens eine Betätigungseinrichtung (24) zum Umschalten des bewegbaren Körpers (10, 16) zwischen dem transmittierenden und dem reflektierenden

Schaltzustand vorgesehen ist.

2. Optisches Schaltelement nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Basiskörper (2), der bewegbare Körper (10, 16) und die Flüssigkeit (13) im wesentlichen den gleichen Brechungsindex aufweisen.

3. Optisches Schaltelement nach den Ansprüchen 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der bewegbare Körper (10, 16) mit mindestens einem Körper oder einer Schicht (16') aus magnetischem oder magnetisierbarem Material versehen ist und daß die Betätigungseinrichtung (24) vorzugsweise mindestens einen außerhalb der Ausnehmung angeordneten Elektromagneten (25) und/oder Permanentmagneten aufweist.

4. Optisches Schaltelement nach den Ansprüchen 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der bewegbare Körper (10, 16) mit mindestens einer vorzugsweise piezoelektrischen oder thermoelektrischen Betätigungseinrichtung verbunden ist.

5. Optisches Schaltelement nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Ausnehmung (20) soweit mit der Flüssigkeit (26) gefüllt ist, daß der im Strahlengang des einfallenden Lichts (23) liegende Bereich des Spaltes zwischen der Grenzfläche (19) und der Oberfläche des bewegbaren Körpers (16) außerhalb des Flüssigkeitsspiegels liegt und daß der bewegbare Körper in die Flüssigkeit bewegbar ist, wodurch die Flüssigkeit durch Verdrängung zumindest teilweise in den Spalt gelangt (Fig. 7 und 8).

6. Optisches Schaltelement nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß ein Flüssigkeitsfilm zwischen einem Teil der Oberfläche des bewegbaren Körpers (16) und einem Teil der Wandung der Ausnehmung (20) ausgebildet ist und daß der bewegbare Körper (16) derart in der Ausnehmung bewegbar ist, daß der im Strahlengang des einfallenden Lichts (23) liegende Bereich des Spaltes zwischen der Grenzfläche (19) und der Oberfläche des bewegbaren Körpers (16) im transmittierenden Schaltzustand mit dem Flüssigkeitsfilm bedeckt und im reflektierenden Schaltzustand frei von dem Flüssigkeitsfilm ist (Fig. 6a und 6b).

7. Optisches Schaltelement nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Ausnehmung (3) und der bewegbare Körper (10, 16) in der Ebene des Strahlengangs eines Lichtstrahls im wesentlichen einen dreieckförmigen Querschnitt aufweisen.

8. Optisches Schaltelement nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Ausnehmung (3) und der bewegbare Körper (10, 16) in der Ebene des Strahlengangs eines Lichtstrahls im wesentlichen einen viereckförmigen Querschnitt aufweisen.

9. Optisches Schaltelement nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Grenzfläche (4, 19) so zu dem einfallenden Lichtstrahl angeordnet ist, daß in dem reflektierenden Schaltzustand das einfallende Licht an der Grenzfläche im wesentlichen totalreflektiert wird.

10. Optisches Schaltelement nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß der Winkel zwischen dem einfallenden Lichtstrahl und der Grenzfläche (4, 19) 40° bis 50° beträgt.

11. Optisches Schaltelement nach den Ansprüchen 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Grenzfläche (4, 19) so geformt ist, daß im reflektierenden Schaltzustand Licht durch Reflexion an der Grenzfläche (4, 19) zumindest teilweise gebündelt wird.

12. Optisches Schaltelement nach den Ansprüchen 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß der Basiskörper (2) mindestens eine weitere Ausnehmung zur Auf-

nahme und Halterung von Lichtwellenleitern, insbesondere von einzelnen Fasern, Faserbündeln oder Fasersteckern, aufweist.

13. Optisches Schaltelement nach den Ansprüchen 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß der Basiskörper (2) mindestens eine weitere Ausnehmung zur Aufnahme von optischen Elementen, insbesondere von Mikrolinsen oder GRIN-Linsen, aufweist

14. Optisches Schaltelement nach den Ansprüchen 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß der Basiskörper (2) mindestens eine weitere Ausnehmung aufweist, die so geformt und im Strahlengang angeordnet ist, daß sie einfallendes Licht im wesentlichen bündelt.

15. Optisches Schaltelement nach einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß eine Fläche der Ausnehmung zur wahlweisen Reflexion oder Transmission von Lichtstrahlen vorgesehen ist.

16. Optisches Schaltelement nach einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß zwei Flächen (60, 61) der Ausnehmung (3) zur wahlweisen Reflexion oder Transmission von Lichtstrahlen vorgesehen sind

17. Optisches Schaltelement nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß die beiden reflektierenden Flächen (60, 61) im wesentlichen parallel zueinander angeordnet sind (Fig. 10a und 10b).

18. Optisches Schaltelement nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß die beiden reflektierenden Flächen (60, 61) in einem Winkel von 70° bis 110° zueinander angeordnet sind.

19. Optisches Schaltelement nach einem der Ansprüche 1 bis 18, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens zwei optische Eingänge in einem Winkel von 70° bis 110° zueinander angeordnet sind.

20. Optisches Schaltelement nach dem Anspruch 18 oder 19, dadurch gekennzeichnet, daß die Ausnehmung (3) und der bewegbare Körper (10) in der Ebene des Strahlengangs eines Lichtstrahls im wesentlichen einen Querschnitt eines gleichschenkligen Dreiecks aufweisen (Fig. 11a und 11b).

21. Optisches Schaltelement nach einem der Ansprüche 18 bis 20, dadurch gekennzeichnet, daß der Basiskörper (2) zwei zusätzliche Flächen (62, 63) aufweist, die im wesentlichen gegenüber den beiden reflektierenden Flächen (60, 61) der Ausnehmung (3) angeordnet sind und daß diese beiden Flächen des Basiskörpers einen Winkel von 70° bis 110° bilden und so angeordnet sind, daß im transmittierenden Schaltzustand mindestens ein Lichtstrahl an beiden Flächen (62, 63) totalreflektiert wird (Fig. 12).

22. Optisches Schaltelement nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, daß die beiden zusätzlichen Flächen (62, 63) durch mindestens eine zusätzliche Ausnehmung im Basiskörper gebildet werden.

23. Optisches Schaltelement nach dem Anspruch 18 oder 19, dadurch gekennzeichnet, daß die Ausnehmung und der bewegbare Körper (10) in der Ebene des Strahlengangs eines Lichtstrahls im wesentlichen einen vier-eckförmigen Querschnitt aufweisen, und daß zumindest der im Strahlengang liegende Bereich des Spalts zwischen den beiden reflektierenden Flächen (60, 61) der Ausnehmung (3) und den benachbarten Flächen des bewegbaren Körpers im transmittierenden Schaltzustand mit der Flüssigkeit (13) gefüllt ist, während die diesen beiden Flächen des bewegbaren Körpers gegenüberliegende dritte und vierte Fläche (64, 65) des bewegbaren Körpers nicht mit der Flüssigkeit bedeckt ist, so daß im transmittierenden Schaltzustand mindestens

ein Lichtstrahl an beiden Flächen (64, 65) im bewegbaren Körper totalreflektiert wird (Fig. 13).

24. Optisches Schaltelement nach einem der Ansprüche 1 bis 23, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens drei Flächen der Ausnehmung (3) zur wahlweisen Reflexion oder Transmission von Lichtstrahlen vorgesehen sind (Fig. 14a und 14b).

25. Optisches Schaltelement nach Anspruch 24, dadurch gekennzeichnet, daß die Ausnehmung und der bewegbare Körper in der Ebene des Strahlengangs eines Lichtstrahls im wesentlichen einen Querschnitt eines Quadrats aufweisen.

26. Optisches Schaltelement nach einem der Ansprüche 1 bis 25, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens ein Teil der einfallenden Lichtstrahlen so zu der Fläche (4) der Ausnehmung (3), von der sie im reflektierenden Schaltzustand reflektiert werden, angeordnet ist, daß dieser Teil der einfallenden Lichtstrahlen mit den entsprechenden reflektierten Lichtstrahlen im wesentlichen in einer Ebene liegt (Fig. 15).

27. Optisches Schaltelement nach einem der Ansprüche 1 bis 25, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens ein Teil der einfallenden Lichtstrahlen so zu der Fläche der Ausnehmung, von der sie im reflektierenden Schaltzustand reflektiert werden, angeordnet ist, daß die Ebene dieses Teils der einfallenden Lichtstrahlen mit der Ebene der entsprechenden reflektierten Lichtstrahlen einen Winkel von 70° bis 110° bildet.

28. Optisches Schaltelement nach einem der Ansprüche 1 bis 27, dadurch gekennzeichnet, daß der bewegbare Körper (10) mindestens zwei Bereiche mit parallel zu der Ebene des Strahlengangs eines Lichtstrahls größeren Querschnitts aufweist, die so nahe an mindestens eine Fläche (60, 61) der Ausnehmung angrenzen, daß zwischen diesen Bereichen und der entsprechenden Fläche der Ausnehmung ein Flüssigkeitsfilm bestehen bleibt, während zwischen den anderen Bereichen mit kleinerem Querschnitt des bewegbaren Körpers und der entsprechenden Fläche der Ausnehmung kein Flüssigkeitsfilm besteht (Fig. 16a und 16b).

29. Optisches Schaltelement nach einem der Ansprüche 1 bis 28, dadurch gekennzeichnet, daß der Basiskörper (2) und/oder der bewegbare Körper (10, 16) zumindest zu einem Teil aus einem transparenten Polymer, einem Glas oder einem transparenten nach einem Sol-Gel-Prozeß hergestellten Material besteht.

30. Schaltanordnung mit N optischen Eingängen und M optischen Ausgängen, die nach Art einer N×M-Matrix mit N-Zeilen und M-Spalten angeordnete Schaltelemente (1, 15) nach einem der Ansprüche 1 bis 29 aufweist, wobei N und M ganze Zahlen sind.

31. Schaltanordnung nach Anspruch 30, dadurch gekennzeichnet, daß die Ausnehmungen (34) der Schaltelemente (1, 15) nach Art einer N×M-Matrix in einem gemeinsamen Basiskörper angeordnet sind.

32. Schaltanordnung nach Anspruch 30, dadurch gekennzeichnet, daß die Schaltelemente als einzelne Schaltmodule realisiert und in nach Art einer N×M-Matrix angeordneten Ausnehmungen einer Matrixplatte angeordnet sind.

33. Schaltanordnung nach Anspruch 30, 31 oder 32, dadurch gekennzeichnet, daß der Basiskörper (30) bzw. die Matrixplatte N parallele Kanäle zur Aufnahme von N-Eingangslichtwellenleitern (35-38) und M parallele Kanäle zur Aufnahme von M Ausgangslichtwellenleitern (39-42) aufweist, wobei die Eingangskanäle im Winkel von 70° bis 110° zu den Ausgangskanälen und die Grenzflächen der Ausnehmungen der Schaltelemente

mente in einem Winkel von 40° bis 50° zu den Eingangs- bzw. Ausgangskanälen angeordnet sind (Fig. 17).

34. Schaltanordnung nach einem der Ansprüche 30 bis 33, dadurch gekennzeichnet, daß die Schaltanordnung 5  
N zweite optische Ausgänge aufweist, die im transmittierenden Schaltzustand auf die N optischen Eingänge geschaltet sind.

35. Schaltanordnung nach einem der Ansprüche 30 bis 34, dadurch gekennzeichnet, daß die Schaltanordnung 10  
M zweite optische Eingänge aufweist, die im transmittierenden Schaltzustand auf die M ersten optischen Ausgänge geschaltet sind (Fig. 18).

36. Schaltanordnung nach einem der Ansprüche 30 bis 35, dadurch gekennzeichnet, daß N Schaltelemente (1, 15) nach Art einer Diagonalen einer N×N Matrix angeordnet sind, wobei die Zahl N der optischen Eingänge gleich der Zahl M der optischen Ausgänge ist (Fig. 19).

37. Schaltanordnung nach einem der Ansprüche 30 bis 36, dadurch gekennzeichnet, daß im Strahlengang zwischen den Eingangs- und Ausgangskanälen und den Ausnehmungen der Schaltelemente (54) Vertiefungen vorgesehen sind, in die optische Elemente (53), insbesondere Mikrolinsen oder GRIN-Linsen, eingesetzt sind. 25

38. Schaltanordnung nach einem der Ansprüche 30, 31 oder 33 bis 37, dadurch gekennzeichnet, daß der Basiskörper (30) aus einer Bodenplatte (31), einer strukturierten Platte (32) und einer Deckplatte (33) zusammengesetzt ist. 30

---

Hierzu 14 Seite(n) Zeichnungen

---

35

40

45

50

55

60

65

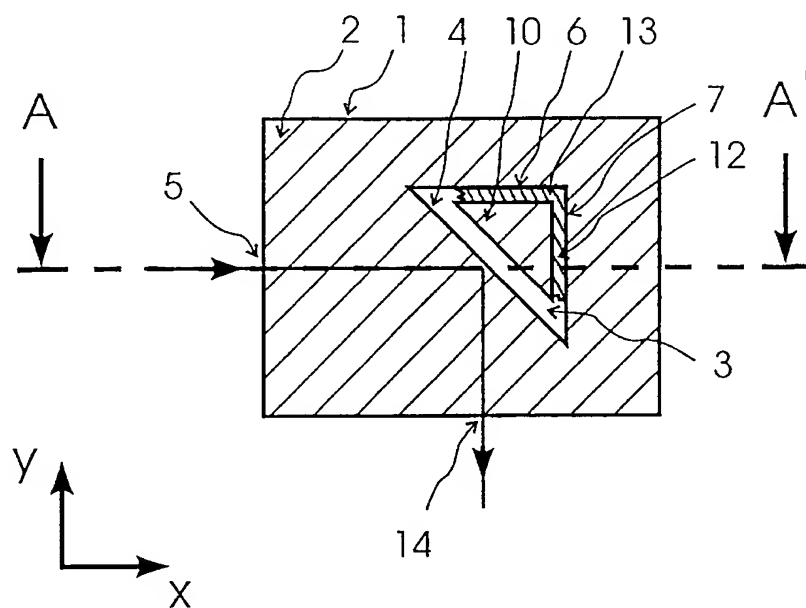


Fig. 1

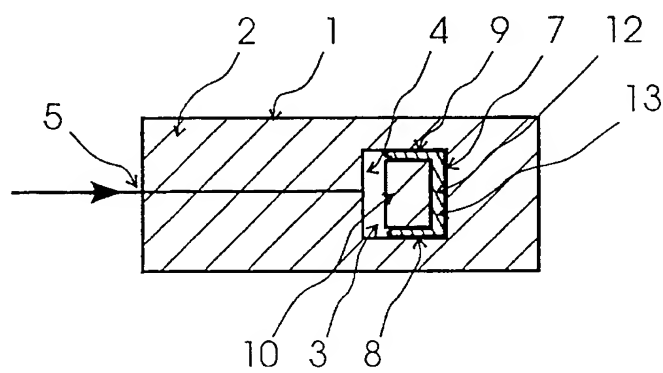


Fig. 2

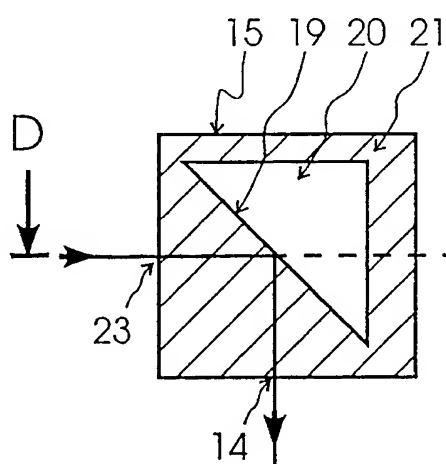


Fig. 5a

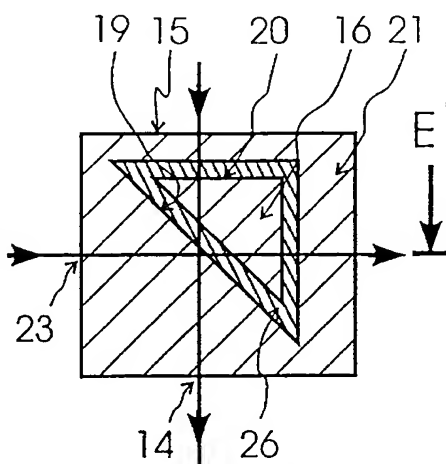


Fig. 5b

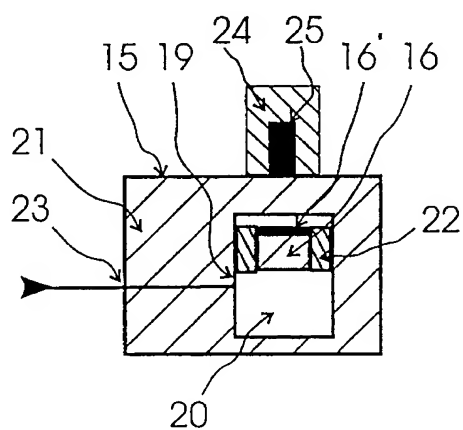


Fig. 6a

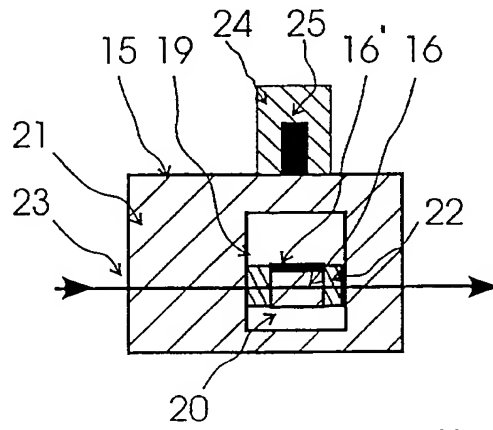


Fig. 6b

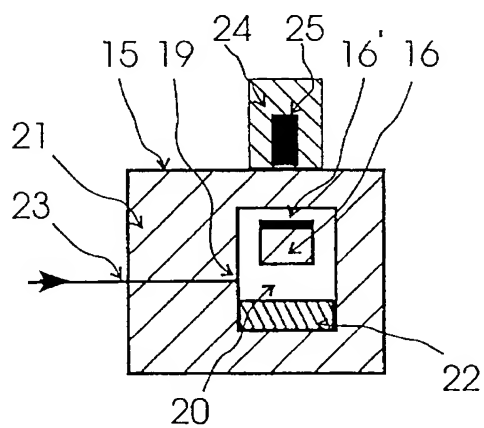


Fig. 7

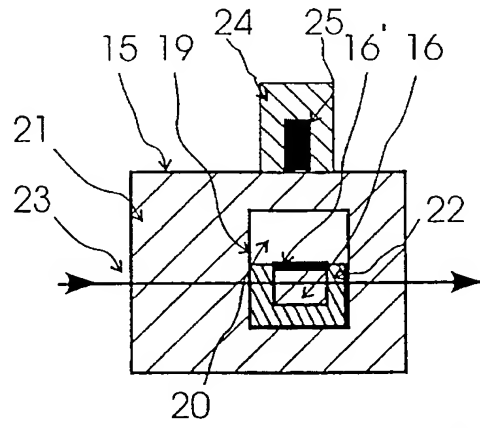


Fig. 8

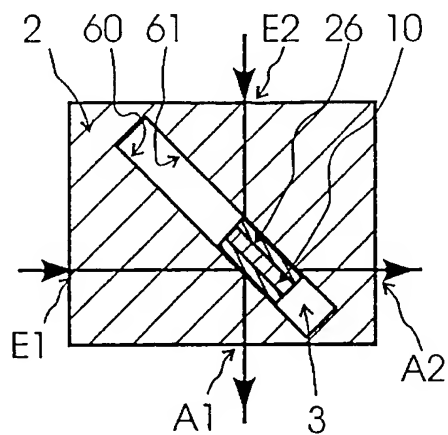


Fig. 9a

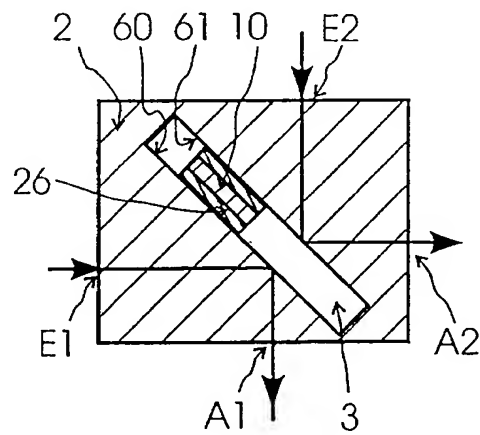


Fig. 9b

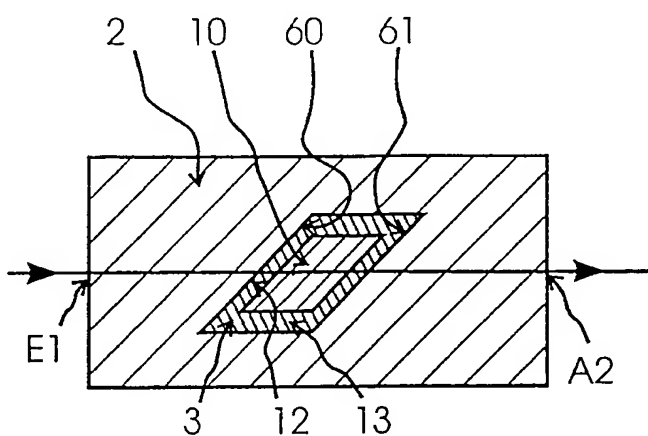


Fig. 10a

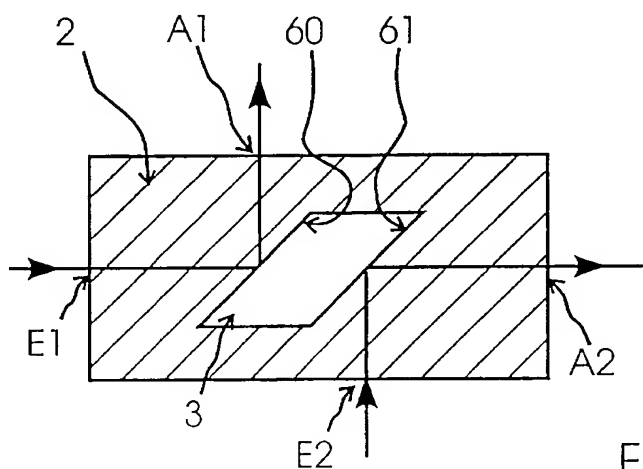
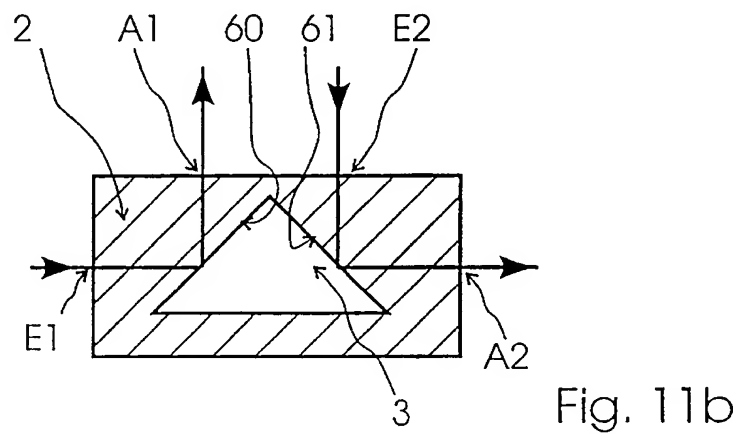
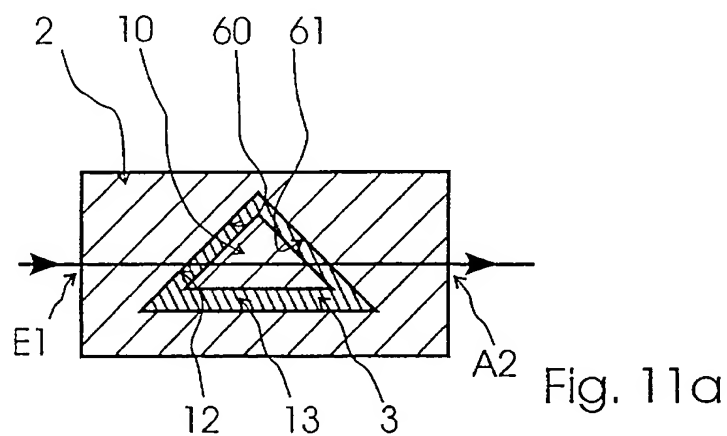


Fig. 10b





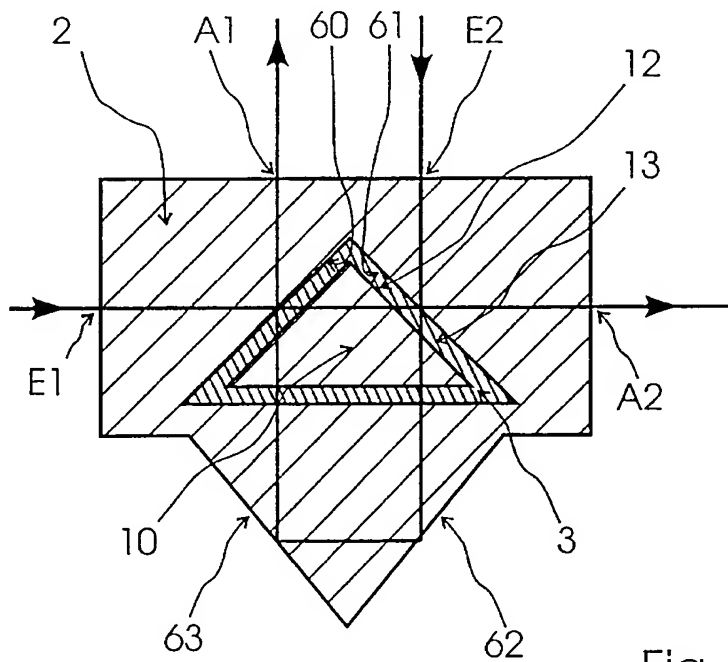


Fig. 12

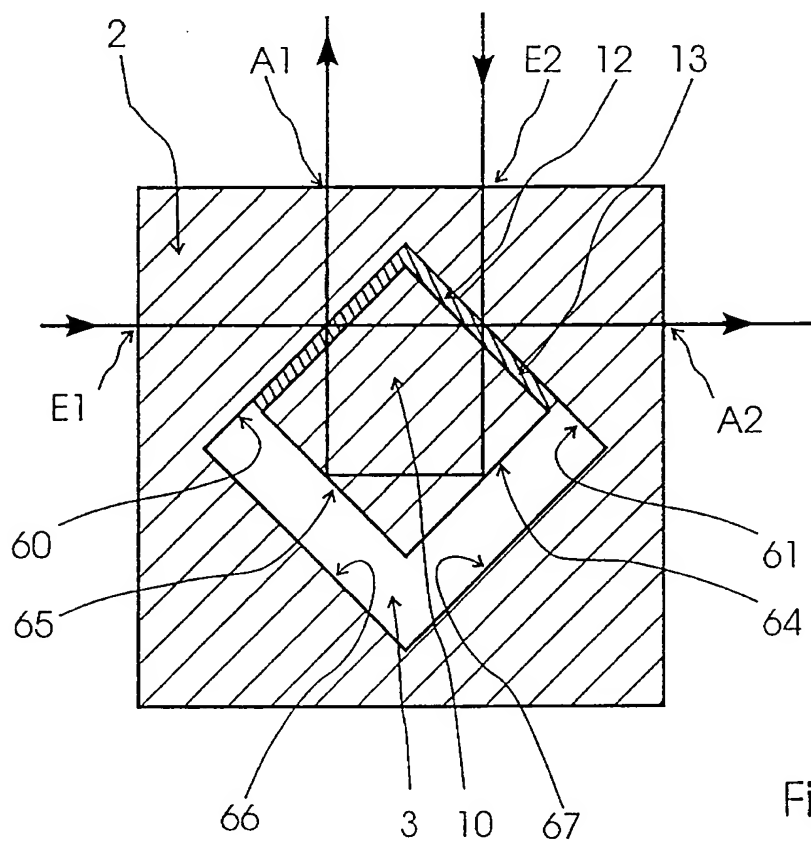


Fig. 13

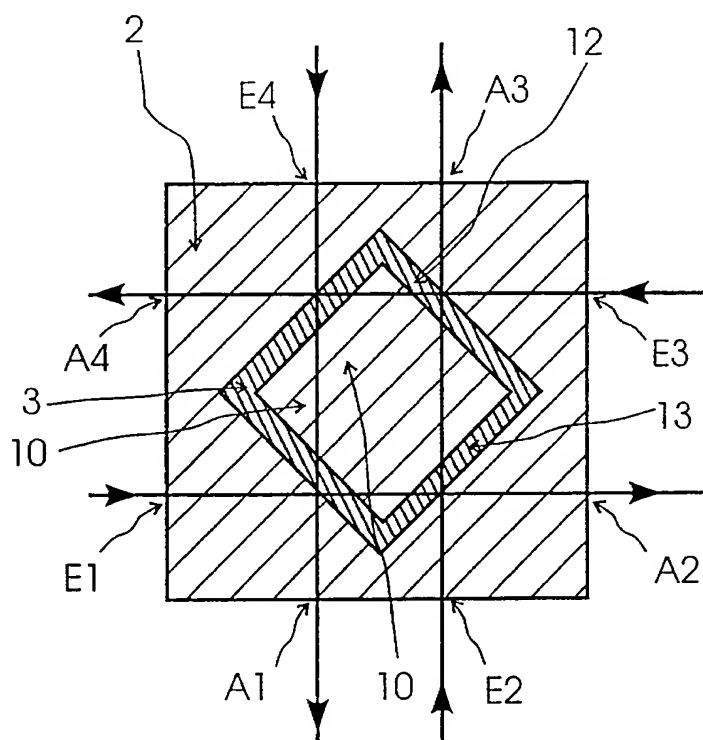


Fig. 14a

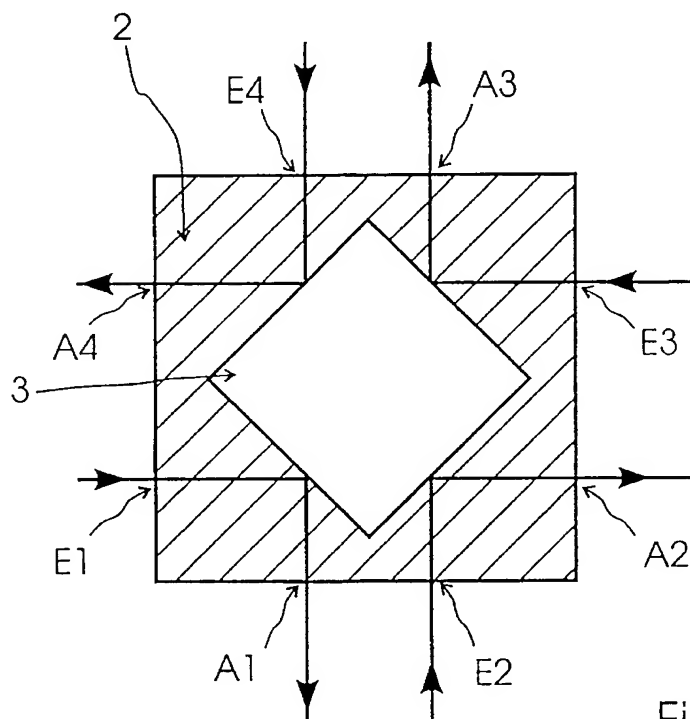


Fig. 14b

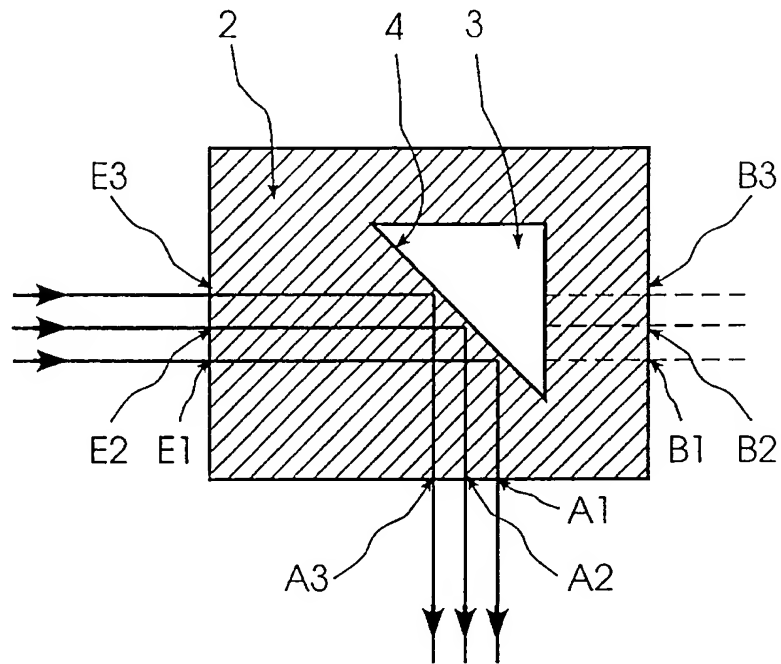


Fig. 15

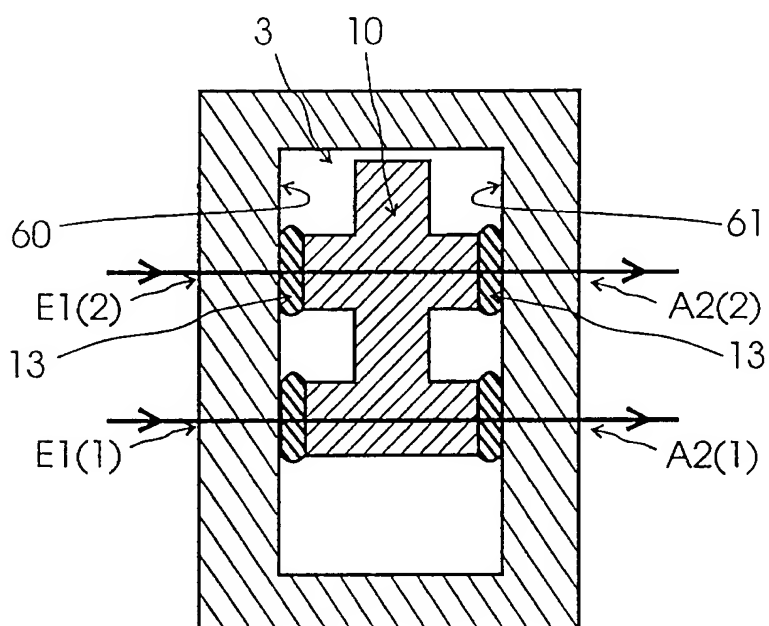


Fig. 16a

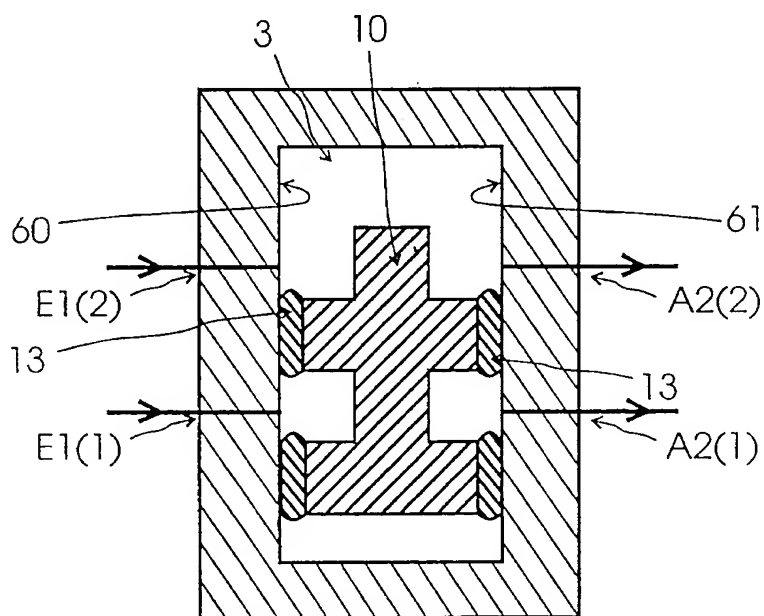


Fig. 16b

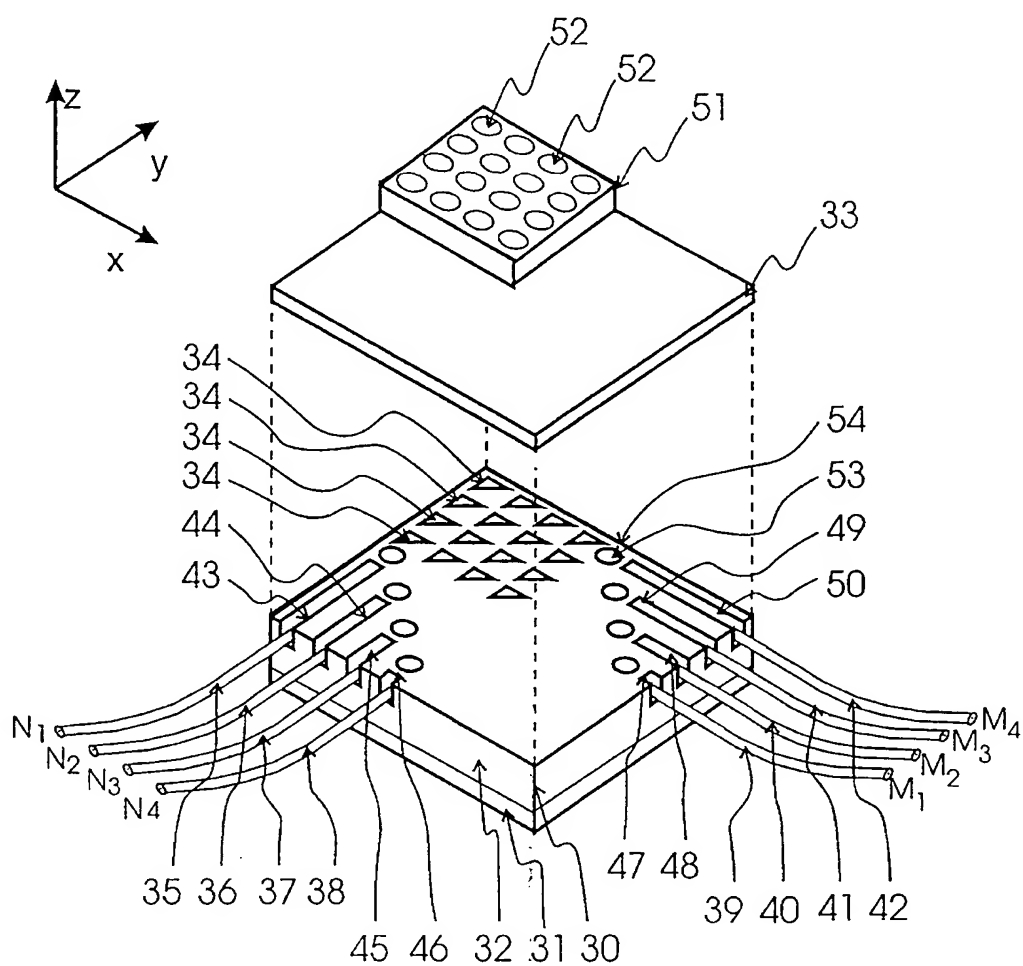


Fig. 17



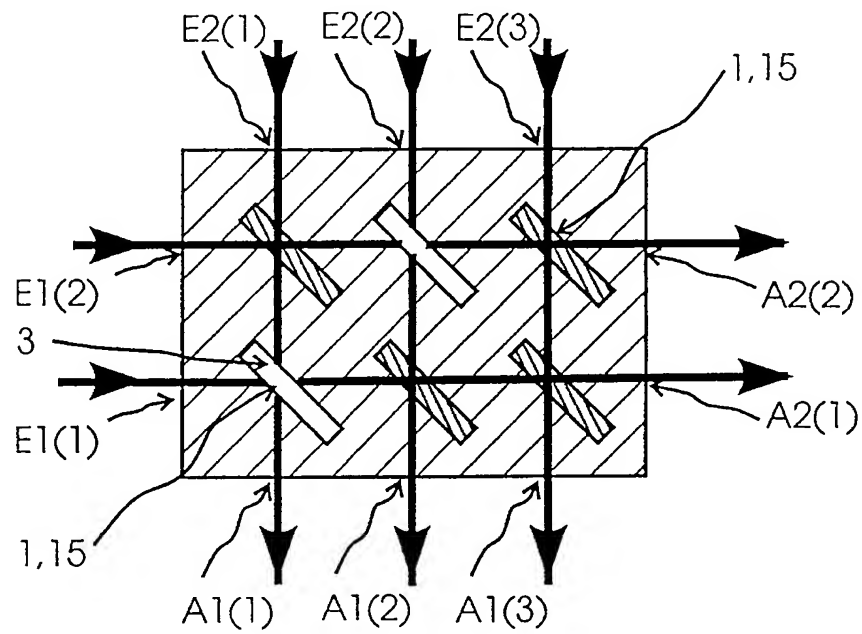


Fig. 18

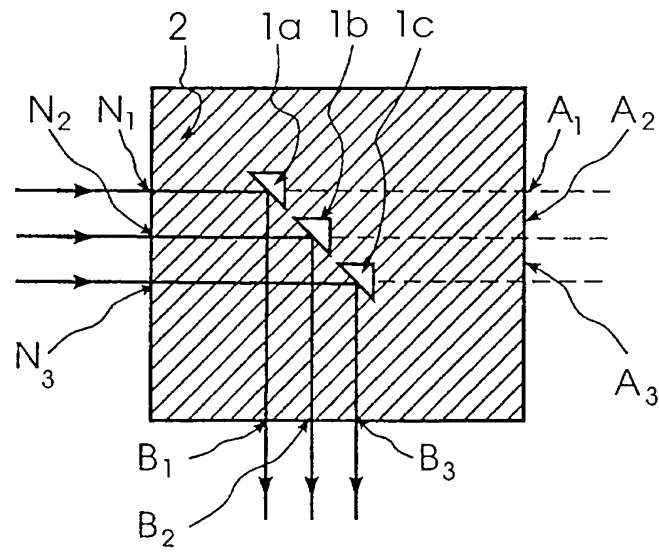


Fig. 19